

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

Д. Д. Лисицин, А. В. Кузин

Московский государственный университет

Нами разработана методика выделения комплексов звездообразования в других галактиках на основании анализа карт излучения в различных спектральных диапазонах. В 17 близких галактиках нами были отобраны кандидаты в комплексы звездообразования на основании трех критериев, а именно исходя из наличия излучения полициклических ароматических углеводородов, излучения холодной пыли и ультрафиолетового излучения молодых звезд. Сопоставив информацию, полученную с помощью этих критериев, мы составили выборку комплексов звездообразования для выявления корреляций между различными индикаторами звездообразования.

IDENTIFICATION OF EXTRAGALACTIC STAR FORMING COMPLEXES

D. D. Lisitsin, A. V. Kuzin

Moscow State University

We developed a technique for selecting star forming complexes in external galaxies based on an analysis of radiation maps in various spectral bands. Using this method, we identified star formation complex candidates in 17 nearby galaxies applying three criteria. These criteria are polycyclic aromatic hydrocarbon emission, dust emission, and ultraviolet young star emission. Relating the information derived from these criteria, we made a sample of star forming regions suitable for revealing correlations between various star formation tracers.

Существующие модели звездообразования в значительной степени опираются на данные об этом процессе, полученные для нашей Галактики. Однако в настоящее время есть возможность детально исследовать рождение звезд и во многих других галактиках. Одним из способов такого исследования является изучение областей активного звездообразования (комплексов звездообразования, КЗО) в других галактиках, включающее в себя сопоставление данных о КЗО в разных диапазонах электромагнитного спектра. Оно в том числе позволяет выявлять ситуации, когда кандидат в КЗО различим в диапазоне, характерном для излучения пыли, но не наблюдается в эмиссионных линиях CO и HI. Эта информация может способствовать подтверждению или опровержению некоторых моделей звездообразования. Для решения данной задачи необходимо тщательно подойти к процедуре выделения КЗО, которая осложняется существенными различиями наблюдательных данных в различных спектральных диапазонах (в первую очередь различным угловым разрешением). В данной работе мы анализируем возможные проблемы, возникающие при выделении КЗО в различных диапазонах.

Для выполнения анализа мы отобрали 17 близких галактик при помощи базы данных HyperLeda [1]. Критериями отбора служили: расстояние не более 15 Мпк (позволяющее выделять КЗО на картах с наихудшим угловым разрешением), принадлежность галактики к спиральному или иррегулярному морфологическому типу (т. е. к типу с активным звездообразованием), наклон плоскости галактики к картинной плоскости менее 45° , наличие качественных изображений галактики на длинах волн 8 и 160 мкм (данные телескопов “Spitzer” [2] и “Herschel” [3]), а также в ближнем ультрафиолетовом (УФ) диапазоне (данные телескопа GALEX [4]).

Таблица 1. Распределение апертур по типам на длинах волн 8 и 160 мкм (апертуры на 160 мкм). Описание типов см. в тексте. Диаметры апертур на длине волны 8 мкм заключены в пределах от 3 до 14'' (FWHM_{8мкм} = 3''), на длине волны 160 мкм — от 12 до 28'' (FWHM_{160мкм} = 11'').

Галактика	Единичный тип	Групповой тип	Пустой тип	Неправильный тип	Всего
NGC 628	12	11	1	29	53
IC 2574	32	5	127	14	178
Holmberg II	6	0	63	9	78
NGC 3938	5	8	0	3	16
NGC 4736	1	2	0	5	8
NGC 5194	13	8	2	11	34
NGC 5457	5	0	2	26	33
UGC 5423	1	0	2	2	5
UGC 8201	1	0	6	3	10
Holmberg I	3	0	11	7	21
NGC 1291	9	1	15	14	39
NGC 3184	6	13	1	13	33
NGC 4254	7	15	4	9	25
NGC 4789A	4	0	18	4	26
NGC 5236	25	9	1	17	52
NGC 6946	24	10	5	20	59
UGC 4459	2	0	1	6	9

После отбора галактик в них были вручную выделены кандидаты в КЗО. Критерием для выделения служило наличие пика эмиссии в одном из трех рассматриваемых диапазонов: 8 мкм, 160 мкм и ближний УФ. Затем мы провели сравнительный анализ кандидатов, чтобы уточнить отбор.

Опишем кратко процесс выделения кандидатов в КЗО. Для первых трех галактик в табл. 1 работа с каждой картой выполнялась авторами статьи независимо. Исходя из углового разрешения снимка мы выделяли от 20 до 200 областей в виде круговых апертур. Затем две карты с выделенными областями накладывались друг на друга и в итоговом списке оставались лишь те области, которые присутствовали в обеих выборках.

Независимое выделение КЗО в трех галактиках различных морфологических типов показало, что в подавляющем большинстве случаев оба автора выделяли одни и те же области; расхождение выборок не превышало нескольких процентов. Поэтому для остальных галактик выделением потенциальных КЗО занимался один человек на галактику.

Чтобы проверить, является ли выделенная нами область единым объектом, мы разработали алгоритм сравнения карт в разных диапазонах. Допустим, мы рассматриваем карты одной галактики в двух различных фотометрических полосах. На обеих картах нами уже выделены апертуры, которые мы ассоциируем с КЗО. Каждой области на карте с худшим угловым разрешением (из двух рассматриваемых) разработанная нами программа приписывает один из типов (см. рисунок):

1. Единичный тип — область, причем единственная в окрестности, имеется на обеих картах. Мы считаем это наиболее надежным критерием отбора КЗО.
2. Групповой тип — одной области на первой карте соответствует несколько областей на второй карте. Мы считаем это антикритерием отбора КЗО, поскольку один КЗО, выделенный на карте с худшим разрешением, на самом деле включает в себя несколько КЗО, возможно, с разными параметрами, например, КЗО разных возрастов.
3. Пустой тип — область присутствует на одной карте, но отсутствует на другой (т. е. на нее не накладываются области со второй карты). Такую ситуацию мы считаем антикритерием отбора КЗО, однако отмечаем как заслуживающую дальнейшего исследования.

4. Неправильный тип — область, не вошедшая по критериям ни в один из вышеописанных типов.

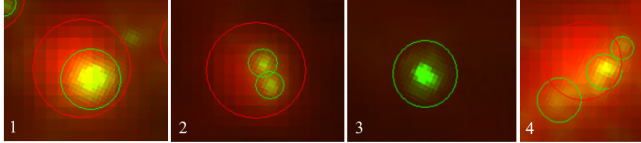


Иллюстрация типов, описанных в тексте. Красный цвет соответствует областям и апертурам на длине волны 160 мкм, зеленый — областям и апертурам на длине волны 8 мкм

Фактически для сопоставления различных индикаторов звездообразования и (или) состояния межзвездной среды непосредственно подходят только области единичного типа. Работая с такими областями, можно надеяться, что в данной области пространства находится ровно одна область звездообразования.

Если выделенная область принадлежит к групповому типу, это может означать, что мы имеем дело с одним КЗО, в котором находятся несколько областей звездообразования. Надо иметь в виду, что групповой тип может реализоваться и в случае наложения разных КЗО друг на друга, поэтому исследовать такие объекты надо с осторожностью.

Пустой тип соответствует случаю отсутствия излучения от области в одной или нескольких полосах. Такие области нетипичны, если исходить из теоретических представлений. Однако, согласно статистике, их не меньше, чем областей единичного типа. В дальнейших исследованиях необходимо объяснить значительную долю таких «нетипичных» областей.

Помимо этого во всех галактиках мы использовали карты излучения в полосе V, чтобы по возможности исключить из рассмотрения звезды переднего фона нашей Галактики. Для этого из итоговых списков были исключены области, которые не светятся в одном из рассматриваемых диапазонов (NUV, 160 мкм, 8 мкм), но видны в полосе V.

В табл. 1, 2 представлены результаты идентификации КЗО, прошедших все этапы отбора. Следует отметить, что анализ выявил наличие большого количества областей, в которых наблюдается эмиссия только в одном из исследуемых диапазонов. Как уже упоминалось, эти области заслуживают дальнейшего изучения. Можно видеть, что во всех галактиках существует много областей, светящихся и на 8 мкм, и на 160 мкм. Эти длины волн соответствуют излучению горячей и холодной пыли, поэтому такие области можно с большой вероятностью считать КЗО и исследовать их далее в работах, посвященных областям активного звездообразования.

Обратим внимание на первые две галактики в табл. 1. В спиральной галактике NGC 628 КЗО единичного типа почти втрое меньше, чем в галактике IC 2574 магелланова типа. Это может показаться неестественным, но дело в методе выделения кандидатов в КЗО. Выделяются лишь те объекты, что резко контрастируют с окружающим пространством, тогда как в спиральных галактиках звездообразование главным образом распределено сравнительно равномерно по протяженным структурам — рукавам. Таким образом, несмотря на интенсивный процесс звездообразования в спиральных галактиках, контрастных областей больше в иррегулярных. Это может сказаться на том, что наша выборка КЗО будет смещена в сторону галактик с распределенным звездообразованием.

Совместный анализ карт на 160 мкм и в полосе NUV показал плохую корреляцию между кандидатами в КЗО, отождествленными по этим картам. Мы приходим к заключению о нецелесообразности их сравнения в дальнейшем.

Результаты сравнения кандидатов в КЗО в диапазонах 8 мкм и NUV (табл. 2), напротив, говорят о высокой степени корреляции между этими индикаторами звездообразования.

Таблица 2. Распределение апертур по типам в ближнем ультрафиолете и на 8 мкм (апертуры в ближнем ультрафиолете). Диаметры апертур на длине волны 8 мкм заключены в пределах от 3 до 14'' (FWHM_{8мкм} = 3''), в ближнем УФ диапазоне — от 5 до 20'' (FWHM_{NUV} = 5'')

Галактика	Тесный тип	Пересекающийся тип	Пустой тип	Неправильный тип	Всего
NGC 628	29	16	38	7	90
IC 2574	14	4	17	2	37
Holmberg II	17	2	43	0	62
NGC 3938	22	10	29	6	67
NGC 4736	1	4	19	8	32
NGC 5194	21	15	17	34	87
NGC 5457	14	5	19	7	45
UGC 5423	2	0	0	2	4
UGC 8201	1	0	6	5	12
Holmberg I	7	1	42	0	50
NGC 1291	37	8	90	6	141
NGC 4254	13	23	28	17	81
NGC 4789A	8	0	49	0	57
NGC 5236	14	23	43	9	89
NGC 6946	12	22	29	8	71
UGC 4459	3	1	2	4	10

Для визуализации данных в табл. 2 мы разделили объекты на типы, слегка отличающиеся от типов в предыдущих таблицах. Дело в том, что разрешение снимков в полосе 160 мкм существенно хуже разрешения в полосах 8 мкм и NUV, поэтому выделенные на 160 мкм области, как правило, получаются намного больше геометрически. Разрешение же снимков на 8 мкм и NUV сравнимо, поэтому нам пришлось разработать систему, которая работала бы корректно при сравнении одинаковых по размеру областей. «Пустой» и «неправильный» типы остались прежними, но в дополнение к ним в данном случае мы ввели другие типы. Тесный тип — области, выделенные в разных диапазонах, пересекаются, причем расстояние между их центрами меньше их среднего радиуса. Пересекающийся тип: области пересекаются, но расстояние между их центрами больше их среднего радиуса.

Отметим, что большинство тесных КЗО, в отличие от табл. 1, приходится на спиральные галактики: NGC 628 и NGC 1291. Это отличие может быть объяснено неучтенной корреляцией излучения в диапазонах 8 мкм и NUV, а именно на длине волны 8 мкм, помимо излучения полициклических ароматических углеводородов, может присутствовать излучение звезд из длинноволнового хвоста распределения Планка. Звездное излучение на длине волны 160 мкм практически отсутствует.

Таким образом, имеет смысл отождествлять КЗО по сравнению двух пар карт: в диапазонах 8 мкм — NUV и диапазонах 8–160 мкм.

Библиографические ссылки

- [1] *Makarov D., Prugniel P., Terekhova N. et al.* HyperLEDA. III. The catalogue of extragalactic distances // *Astron. Astrophys.* — 2014. — Vol. 570. — P. A13.
- [2] *Werner M. W., Roellig T. L., Low F. J. et al.* The Spitzer Space Telescope Mission // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2004. — Vol. 154, № 1. — P. 1–9. [astro-ph/0406223](#).
- [3] *Pilbratt G. L., Riedinger J. R., Passvogel T. et al.* Herschel Space Observatory. An ESA facility for far-infrared and submillimetre astronomy // *Astron. Astrophys.* — 2010. — Vol. 518. — P. L1. 1005.5331.
- [4] *Conti A., Bianchi L., Shiao B.* The GALEX public archive at MAST // *Astrophys. Space. Sci.* — 2011. — Vol. 335, № 1. — P. 329–331.